Archive of SID

IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Vol. 13, No. 1, 1384/2005 Spring & Summer

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Rare earth element study on scheelites from tungsten deposits in southwest of Astaneh, Arak, Iran

M. Ghaderi[1], Z. Fardindoost[1], J. Herrin[2]

1- Department of Geology, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran
2- Faculty of Geosciences, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands
E-mail: mghaderi@modares.ac.ir

(Received: 1/6/2004, received in revised form: 15/1/2005)

Abstract: Two types of tungsten mineralization have been recognized in southwest of Astaneh: 1. Stratabound type at Bamsar with calcareous schists and siliceous tuffs as host rocks, 2. Quartz-tourmaline vein type at Nezamabad, Revesht and Fizaneh hosted in quartzdiorite-granodiorite intrusions. Scheelite is the main tungsten ore mineral in both types. Generally, two distinct REE_N patterns are observed in the scheelites from the region: Nezamabad, Revesht and Fizaneh patterns have a convex feature varying from Eu-free to highly negative Eu anomaly, having high Na and ΣREE contents. The samples are enriched in HREE. Bamsar type REE_N pattern has lower ΣREE and Na, a relatively flat feature and small to large positive Eu anomalies. The samples are enriched in LREE. According to the REE trends, presence of high-temperature minerals, exsolution textures, presence of organic and graphitic parts, the two types of mineralization share a high temperature and reducing environment, but some differences lie in REE controlling processes. Surface absorption at Bamsar and mixing of complexes mechanism at Nezamabad, Revesht and Fizaneh control the REE patterns. Therefore, it can be concluded that the origin of REE in scheelites in the mineralized areas of Bamsar, Nezamabad, Revesht and Fizaneh share the same source and the differences in ΣREE result from the influence of host rocks in the areas with vein-type mineralization.

Keywords: *Rare earth elements, Scheelite, Stratabound, Quartz-tourmaline vein, Arak, Iran.*

www.SID.ir

Archive of SID

مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران
سال سیزدهم، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۸۴، از صفحهٔ ۲۹ تا ۴۲
انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مطالعهٔ عناصر خاکی نادر در شئلیت‌های ذخایر تنگستن جنوب‌غرب آستانهٔ اراک

مجید قادری[۱]، زهره فردین‌دوست[۱]، جیسون هرین[۲]

۱- بخش زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دانشکده علوم زمین دانشگاه اوترخت، اوترخت، هلند
پست الکترونیکی: mghaderi@modares.ac.ir

(دریافت مقاله ۸۳/۳/۱۱، دریافت نسخه نهایی ۸۳/۱۰/۲۵)

چکیده: دو نوع کانه‌زایی تنگستن در جنوب‌غرب آستانهٔ اراک شناسایی شده است: ۱- نوع استراتاباند در بامسر با سنگ میزبان کالک‌شیست و توف سیلیسی، ۲- نوع با رگهٔ کوارتز- تورمالین در نظام‌آباد، روشت و فیزانه با سنگ میزبان کوارتزدیوریت- گرانودیوریت که در هر دو نوع شئلیت کانهٔ اصلی تنگستن است. به طور کلی دو نوع REE_N در شئلیت‌های ناحیه دیده می‌شوند: نوع نظام‌آباد، روشت و فیزانه که شکل خمیده داشته و از بدون آنومالی Eu تا دارای آنومالی به شدت منفی Eu تغییر می‌کنند و Na و ΣREE بالایی دارند. این نمونه‌ها از HREE غنی شده‌اند. نوع REE_N بامسر دارای Na و ΣREE پائین‌تر، با شکل مسطح‌تر و آنومالی مثبت کوچک تا بزرگ Eu است. نمونه‌های شئلیت بامسر از LREE غنی شده‌اند. وجود کانیهای با دمای بالا، بافت‌های ناآمیخته ونیز مواد آلی و بخش‌های گرافیتی در REE ، موجب شده‌اند تا کانه‌زایی هر دو نوع در محیط احیا و دمای بالا رخ دهد ولی تفاوتهایی از نظر فرایندهای کنترل‌کننده REEها دارند. در بامسر جذب سطحی و در نظام‌آباد، روشت و فیزانه سازوکار اختلاط کمپلکس‌ها، کنترل‌کنندهٔ REEها هستند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که خاستگاه REE شئلیت‌ها و در نتیجه خاستگاه تنگستن، در مناطق کانی‌سازی‌شده بامسر، نظام‌آباد، روشت و فیزانه یکسان بوده و اختلافات موجود در ΣREE، ناشی از تأثیر سنگهای میزبان مناطق کانه‌سازی نوع رگه‌ای است.

واژه‌های کلیدی: عناصر نادر خاکی، شئلیت، استراتاباند، رگه کوارتز-تورمالین، اراک.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در جنوب‌غرب آستانهٔ اراک مناطقی وجود دارند که از دو نوع کانه‌زایی تنگستن با پتانسیل بالا تشکیل شده‌اند و در گسترهٔ جغرافیایی ′۰۷ °۴۹ الی ′۱۷ °۴۹ طول شرقی و ′۳۹ °۳۳ تا ′۴۳ °۳۳ عرض شمالی قرار گرفته‌اند. نوع استراتاباند در منطقهٔ بامسر و نوع رگه‌ای در مناطق نظام‌آباد، روشت و فیزانه.

منطقهٔ بامسر در ۳۵ کیلومتری جنوب‌غرب آستانهٔ اراک واقع شده، منطقهٔ روشت در ۳ کیلومتری شمال‌شرق بامسر و مناطق فیزانه و نظام‌آباد نیز به‌ترتیب در ۷ و ۸ کیلومتری شرق بامسر قرار دارند. شئلیت کانی اصلی تنگستن در هر دو نوع است.

به منظور بررسی ارتباط کانی‌سازی در این دو نوع، بررسیهایی روی عناصر خاکی نادر شئلیت‌های مناطق کانه‌زایی صورت گرفت که مقالهٔ حاضر نتایج به‌دست‌آمده از آن بررسیهاست.

زمین‌شناسی ناحیهٔ مورد مطالعه

ناحیهٔ مورد بررسی در زون سنندج- سیرجان و زیرزون با دگرشکلی پیچیده [۱ و ۲] قرار دارد. قدیمی‌ترین سنگهای ناحیه، مربوط به پالئوزوئیک بوده که بین مالمیر و توان‌دشت در جنوب‌غرب ناحیه رخنمون شده‌اند. سنگهای پالئوزوئیک بیشتر از متاریولیت و متاآمفیبول همراه با دولومیت (مرمری‌شده) تشکیل شده‌اند که با واحد آتشفشانی- رسوبی پرموتریاس به‌صورت هم‌شیب و پیوسته پوشیده می‌شوند. واحد نامبرده از آهک و دولومیتهای کریستالین چرت‌دار با درون‌لایه‌هایی از شیستهای سبز تشکیل شده که در بخشهای پایین دارای ضخامت قابل‌ملاحظه‌ای از ماسه‌سنگهای کوارتزیتی ناخالص دگرگون‌شده با درون‌لایه‌هایی از سریسیت‌شیست، دولومیت کریستالین و آهک چرت‌دار کریستالین است. بخشهای فوزولینیددار (آهکهای چرت‌دار کریستالین) واحد آتشفشانی-رسوبی به پرمین و بخشهای بالای آن که دارای فسیل پنتاکرینوس است به پرمین-تریاس نسبت داده می‌شود [۳]. واحدهای تریاس بیشتر در جنوب‌غرب منطقه با سه رخسارهٔ متفاوت قابل تشخیص‌اند: ۱- متاولکانیک‌ها و توف‌ها که ترکیب آندزیتی داشته، عموماً تیره‌رنگ و تا حدودی کربناته بوده و تا حد رخسارهٔ شیست‌سبز دگرگون شده‌اند. ۲- رخسارهٔ آتشفشانی- رسوبی و ۳- مرمر که در بعضی نواحی، سنگ‌آهک کریستاله سفید تا خاکستری کمی دولومیتی‌شده رخنمون دارد [۴]. بالاترین بخش از ردیف دگرگونی را شیستهای پلیتی که دارای درون‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگهای گریوکی دگرگون‌شده هستند، تشکیل می‌دهند و میزان این درون‌لایه‌ها به سمت بالای این واحد افزایش می‌یابد. واحد نامبرده در ناحیهٔ لکان، در محل آبادی تخمار (شمال‌شرق ناحیه) با نهشته‌های آهکی دگرگون‌شدهٔ آلیتی حاوی آمونیت و بلمنیت، پوشیده می‌شود. آمونیتها در این نهشته‌ها (که

www.SID.ir

Archive of SID

شباهت به سازند بادامو داشته و تحت تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای قرار گرفته‌اند) دارای سن Toarcian بوده [۵] و بیانگر این حقیقت هستند که سن شیستهای همدان، تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین است. ردیف سنگهای دگرگونی مذکور که سن آن از پرمین تا ژوراسیک است، در اطراف شهرستان شازند به‌طور ناپیوسته و پیشرونده با نهشته‌های کرتاسه پوشیده می‌شود [۳]. کلیه توده‌ها در اثر دگرگونی ناحیه‌ای در حد رخسارهٔ شیست‌سبز دگرگون شده‌اند. در اثر نفوذ توده‌های نظام‌آباد- مالمیر (کمپلکس بروجرد) در این مجموعهٔ دگرگون‌شده، علاوه بر ایجاد هالهٔ دگرگونی مجاورتی، گرمای ناشی از نفوذ این توده‌ها، درجهٔ دگرگونی را تا حد رخسارهٔ آمفیبولیت زیرین توسعه داده است (شکل ۱)[۶]. این توده‌ها از نظر سنگ‌شناسی، به سه بخش گرانیتی، گرانودیوریتی و کوارتزدیوریتی تقسیم می‌شوند. توده‌های کوارتزدیوریتی معمولاً در مجاورت سنگهای دگرگونی ژوراسیک قرار داشته و ریخت‌شناسی همواری را پدید می‌آورند. به شمت عمق توده، مقدار سیلیس افزایش یافته و کوارتزدیوریت به تونالیت نزدیکتر می‌شود [۷]. مقاطع میکروسکوپی این توده نشان می‌دهد این سنگها دارای پلاژیوکلاز تا حدی سریسیتی‌شده، کوارتز، بیوتیت فراوان حاوی انکلوزیونهای آپاتیت و زیرکن، آمفیبول‌های کلریتی‌شده و اسفن هستند. تبدیل کوارتزدیوریت به گرانودیوریت مرز مشخصی ندارد. مقدار بیوتیت به سمت گرانودیوریتها، کمتر و رنگ آن روشن‌تر می‌شود [۷]. این توده‌ها حاوی کوارتز، پلاژیوکلاز سریسیتی‌شده، فلدسپات آلکالن، بیوتیت و آمفیبول بوده و توپوگرافی خشنی دارند و اکثر ارتفاعات بلند منطقه را تشکیل می‌دهند. رنگ توده‌های گرانیتی روشن‌تر از توده‌های گرانودیوریتی بوده و توپوگرافی پست‌تری نسبت به گرانودیوریت‌ها دارند. فشارهای ناشی از نیروهای زمین‌ساختی باعث سمتگیری بلورهای این سنگها (که شامل کوارتز، آلکالی‌فلدسپار، پلاژیوکلاز و بیوتیت هستند) شده است.

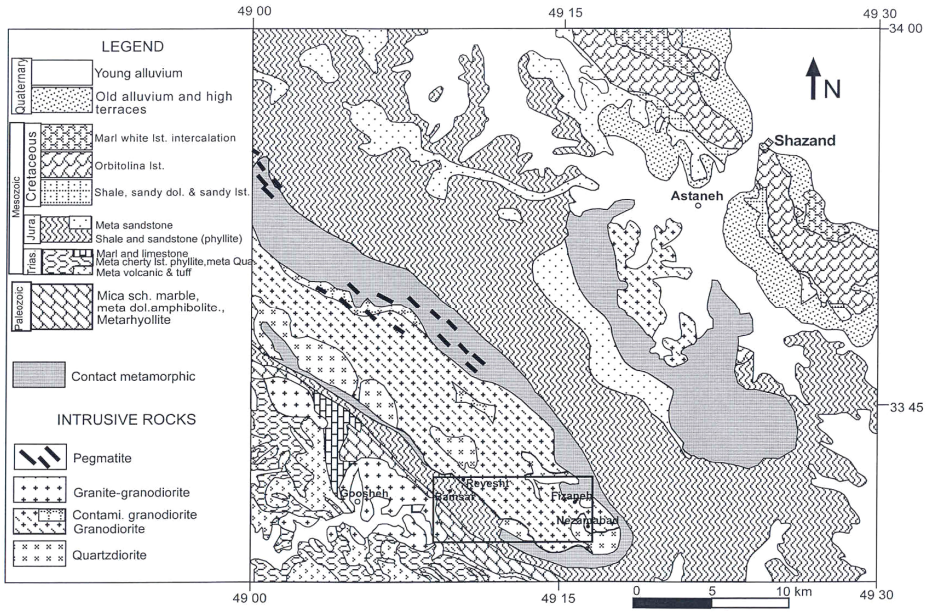
در معدن بامسر با نوع استراتاباند که در اثر دگرگونی ناحیه‌ای به اسکارن ناحیه‌ای تبدیل شده است، شش افق کانه‌دار شناسایی شده‌اند [۸]. سنگهای میزبان عمدتاً کالک‌شیست و توف سیلیسی هستند که کانه‌زایی به صورت لایه‌ای یا رگه‌ای بوده و این رگه‌ها درون عدسی‌های همخوان با لایه‌بندی تشکیل و محدود شده‌اند. پاراژنز مادهٔ معدنی عبارتند از شئلیت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، اسفالریت، پیریت و کاسیتریت. افق‌های کانه‌دار در منطقهٔ بامسر به ضخامت ۳ تا ۴ متر، در حدود ۳ کیلومتر امتداد دارند. عیار تنگستن در ترانشه‌ها و تونل حفرشده در بامسر تا ۱۱۰۰ ppm گزارش شده و این عیار در طول یک کیلومتر گسترش سطحی زون مینرالیزه، قابل توجه نیست [۹].

در مناطق نظام‌آباد، روشت و فیزانه، توده‌های نفوذی اسیدی نظام‌آباد-مالمیر (بخش جنوب‌شرقی کمپلکس بروجرد) سنگهای دگرگونی تریاس- ژوراسیک را قطع کرده‌اند. در مناطق نظام‌آباد و روشت، تودهٔ کوارتزدیوریتی- تونالیتی و در منطقهٔ فیزانه، تودهٔ گرانودیوریتی سنگ میزبان رگه‌های کوارتز- تورمالین حاوی کانه است. امتداد این رگه‌ها عمدتاً

www.SID.ir

Archive of SID

N40-60W و شیب آنها ۴۵ تا۸۰ درجه به سمت شمال‌شرق بوده و ضخامتشان متغیر است [۹]. کانسنگ این مناطق کانه‌سازی دارای کانه‌های شئلیت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، بیسموتینیت، بیسموت خالص، پیریت، پیروتیت، اسفالریت، کالکوپیریت و کاسیتریت است [۷]. شئلیت همراه کوارتز تجمع بیشتری نشان می‌دهد، اما همراه تورمالین هم دیده می‌شود. ذخیرهٔ تنگستن نظام‌آباد در حدود ۸۰۰۰ تن با عیار ۰٫۲۲ درصد برآورد شده است [۹].



شکل ۱ نقشهٔ ساده‌شدهٔ زمین‌شناسی ناحیهٔ جنوب‌غرب آستانه اراک که مناطق مورد مطالعه روی آن مشخص گردیده است (اقتباس از [۶]).

آماده‌سازی نمونه‌ها و روش اندازه‌گیری

دانه‌های شئلیت مربوط به ۱۳ نمونهٔ کانی‌سازی شده از ذخایر تنگستن بامسر، نظام‌آباد، روشت و فیزانه با لامپ فرابنفش جداسازی شد و سپس دانه‌های مذکور در رزین صیقل داده‌شدند. نمونه‌های انتخابی از مناطق مورد بحث شامل: بامسر (۲ نمونه)، نظام‌آباد (۷ نمونه)، روشت (۲ نمونه) و فیزانه (۲ نمونه) بوده‌اند که چون در هر یک از این مناطق تنها یک نوع کانی‌سازی مشاهده می‌شود، لذا از بخشهای مختلف هر اثر معدنی، نمونه‌هایی برداشت شد. این نمونه‌ها به ترتیب با کدهای B، N، R و F نامگذاری شدند. عناصر خاکی نادر و نیز تعدادی از عناصر کمیاب نمونه‌های شئلیت توسط یک طیف‌سنج جرمی پلاسمایی زوجی القایی نفوذی لیزری (LA-ICP-MS) مدل MicromassPlatform در دانشکدهٔ علوم زمین دانشگاه اوترخت هلند به‌صورت درجا و با روزنه‌هایی به شعاع ۸۰ تا ۱۲۰ میکرون تجزیه شدند. لیزر از

www.SID.ir

Archive of SID

نوع Ar-F excimer nm ۱۹۳ با بسامد ۱۰ هرتز بوده و تجزیه‌ها در حالت شمارش ضربانی و با زمانهای آنالیز یک دقیقه‌ای مطابق لانگریچ و همکاران [۱۰] صورت گرفت. ^{44}Ca به عنوان استاندارد داخلی برحسب مادهٔ مرجع سیلیکاته NIST 612 و نیز استاندارد شیشه BCR-2G سازمان زمین‌شناسی امریکا برای تضمین درستی تجزیه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. سیگنال متوسط به‌دست آمده برای تمام اندازه‌گیریهای انجام شده بالاتر از حد تعیین‌شدهٔ انحراف معیار اندازه‌گیریهای زمینه (حدود ۱۰ برابر) بوده است و نیز مشخص شد که مقادیر اندازه‌گیری‌شده برای تمامی عناصر حداکثر ۱۰٪ با مقادیر پذیرفته شده تفاوت دارد. همچنین، با استفاده از دستگاه ریزگمانهٔ الکترونی (EPMA) معلوم شد که تمامی نمونه‌های آنالیز شدهٔ شئلیت، حاوی ۱۹٫۴ درصد CaO و ۸۰٫۶ درصد WO_3 با مقادیر بسیار اندک منیزیم، منگنز و آهن (نشانگر مقدار کم ولفرامیت) و نیز مقادیر بسیار کم مولیبدن (حاکی از مقدار کم پوولیت) هستند. برای بررسی احتمال وجود ناخالصی، مقادیر SiO_2 و Al_2O_3 شئلیت‌ها نیز مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند که در تمامی نمونه‌ها، دارای مقادیر نزدیک یا پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه بودند.

نتایج

الگوهای REE_N حاصل از آنالیز LA-ICP-MS برخی از نمونه‌های شئلیت مورد مطالعه در مناطق بامسر، نظام‌آباد، روشت و فیزانه در شکل ۲ ارائه شده‌اند. مقادیر کندریتی مورد استفاده برای هنجارش REE براساس [۱۱] درنظرگرفته شدند.

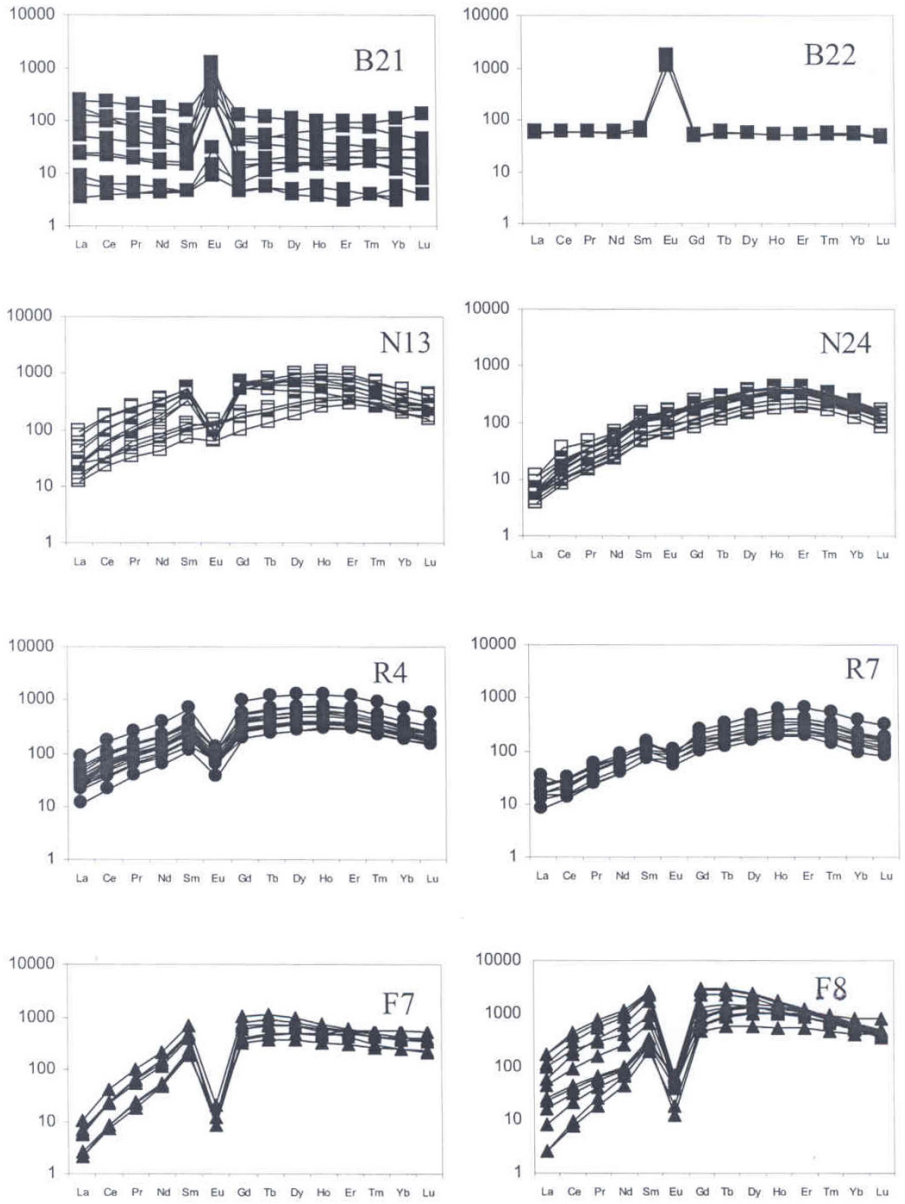
با توجه به شکل ۲، به‌طور کلی دو نوع الگوی REE_N در شئلیت‌ها دیده می‌شوند: یک نوع الگوی REE_N نمونه‌های شئلیت نظام‌آباد، روشت و فیزانه و نوع دیگر الگوی REE_N نمونه‌های شئلیت بامسر.

الگوهای نمونه‌های نظام‌آباد، روشت و فیزانه از الگوهای فاقد آنومالی تا دارای آنومالی شدید منفی Eu، ($Eu^* = (SmN \times GdN)^{0.5}$, $Eu/Eu^* = 0.001 - 0.07$) تغییر می‌کند و ΣREE بالایی دارند. این نمونه‌ها از HREE غنی شده‌اند (نسبت $Ce/Lu = 0.009 - 0.94$). با چشم‌پوشی از آنومالی Eu، این الگوها شکل خمیده (محدب) دارند. الگوهای REE_N نمونه‌های شئلیت نظام‌آباد، روشت و فیزانه را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. نمونه‌های فیزانه دارای منفی‌ترین آنومالی Eu و ΣREE بالاتری بوده و حداکثر تحدب الگوی آنها در Gd است، در حالی که نمونه‌های نظام‌آباد و روشت چنانکه از الگوی REE_N و نمودارها پیداست، دارای گسترهٔ مشابهی از ΣREE و آنومالی‌های Eu بوده و حداکثر تحدب الگوی REE_N آنها به سمت Ho و Er تمایل دارد.

الگوهای REE_N نوع بامسر دارای ΣREE پائین‌تر، شکل مسطح‌تر و آنومالی مثبت کوچک تا بزرگ Eu ($Eu/Eu^* = 0.1 - 2.7$) هستند. این نمونه‌ها از LREE (نسبت $Ce/Lu = 0.19 - 5.73$) غنی شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲ الگوهای نرمالایز شدهٔ کندریتی REE تعدادی از نمونه‌های شئلیت مناطق کانی‌سازی‌شده (B = بامسر، N = نظام‌آباد، R = روشت، F = فیزانه). مقادیر کندریتی بر اساس [۱۱] می‌باشند.

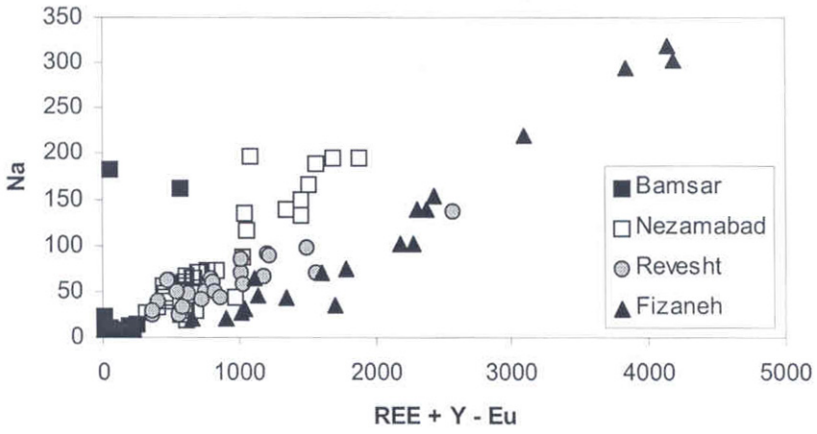
بحث و بررسی

به نظر قادری و همکاران [۱۲] زمانی که Eu فقط به صورت Eu^{2+} در شاره حضور دارد، اگر میزان Na در شئلیت کم باشد، تمرکز REE^{3+} (شامل Sm و Gd) نیز کم است، در نتیجه

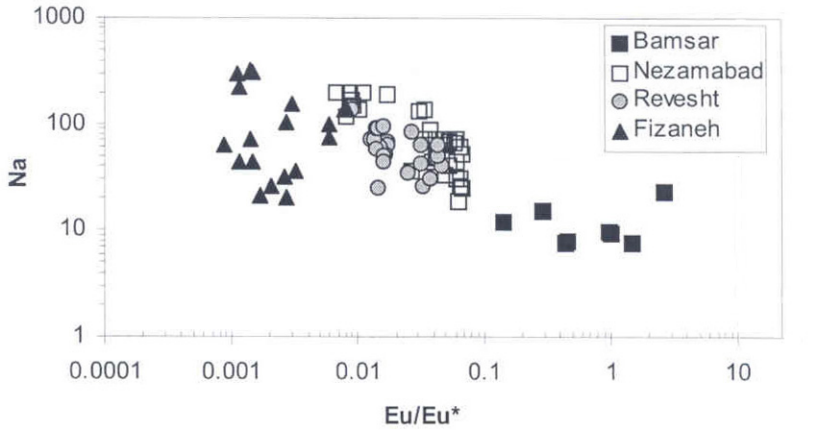
www.SID.ir

Archive of SID

شئلیت دارای آنومالی مثبت Eu است. در صورتی که مقدار Na در شئلیت افزایش یابد، تمرکز Sm و Gd افزایش خواهد یافت، اما هیچ تغییری در تمرکز Eu وجود نخواهد داشت. بنابراین اندازهٔ آنومالی Eu کاهش می‌یابد. نمودارهای سدیم در مقابل ΣREE و Eu/Eu* (شکلهای ۳ و ۴) نشان می‌دهد که با افزایش سدیم، تمرکز ΣREE^{3+} (شامل Sm و Gd) نیز افزایش یافته و باعث افزایش آنومالی منفی Eu می‌شود. این مطلب در ابعاد یک دانه شئلیت هم قابل مشاهده است، به‌طوریکه تغییرات سدیم در زمان رشد بلور، باعث تغییرات ΣREE و مقدار آنومالی Eu شده است (شکل ۵).



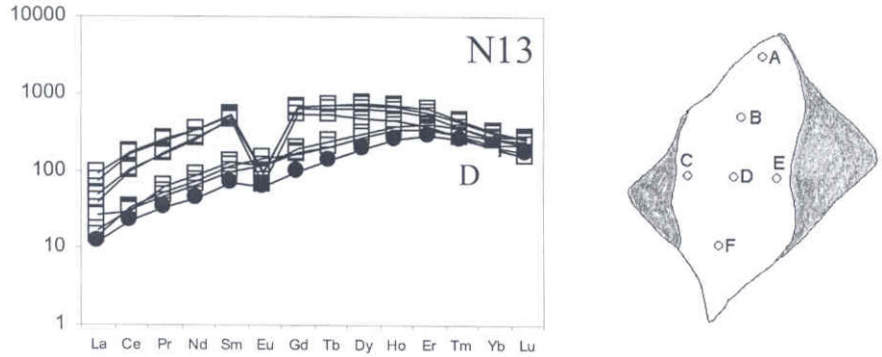
شکل ۳ تغییرات سدیم در مقابل ΣREE نمونه‌های شئلیت بخشهای کانی‌سازی‌شدهٔ منطقهٔ مورد مطالعه.



شکل ۴ تغییرات سدیم در مقابل آنومالی Eu نمونه‌های شئلیت بخشهای کانی‌سازی‌شدهٔ منطقهٔ مورد مطالعه.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵ تأثیر تغییرات فراوانی سدیم بر ΣREE و مقدار آنومالی Eu. در این بلور مقدار سدیم از مرکز **(D)** به اطراف زیاد می‌شود و همراه این افزایش، میزان ΣREE و آنومالی Eu افزایش می‌یابد.

الگوهای REE_N نمونه‌های شئلیت بامسر که آنومالی مثبت Eu نشان می‌دهند، دارای کمترین مقدار میانگین سدیم، ΣREE، Sm و Gd هستند که بر اساس آنچه در بالا ذکر شد، این مقادیر شواهدی از حضور Eu به صورت دو ظرفیتی است. بررسی شاره‌های درگیر توسط عزیزپور مغوان [۸] در کوارتز، گارنت و کلینوزوئیزیت لایه‌ها و رگه‌های گارنت‌دار درشت‌بلور و اسکارنی در اثر معدنی بامسر، نشان داد که تنها یک نوع شارهٔ حاوی CO_2 بالا موجب کانه‌زایی شده و دمای همگن‌شدن شاره‌های درگیر اولیه بین ۳۵۰ تا ^{o}C ۴۰۰ و درجهٔ شوری ۱۲ تا ۲۰٪ وزنی معادل NaCl است. حضور بافتهای ناآمیخته و کانی‌های با دمای بالا مؤید این دما هستند. همچنین در این منطقه حضور شیست‌های کربن‌دار سبب ایجاد محیط احیا شده است. در دماهای بیش از ^{o}C ۲۵۰ و یا در محیط‌های احیا، Eu به صورت دو ظرفیتی حضور دارد [۱۳]. در نتیجه در این منطقه Eu باید دو ظرفیتی باشد که آنومالی مثبت آن و شرایط موجود در منطقه (دمای بالای تشکیل کانه و محیط احیا) این نکته را تأیید می‌کند.

به نظر شمعانیان اصفهانی [۱۴] در نظام‌آباد با وجود وفور کانه آرسنوپیریت که بیانگر حضور آهن در محیط است، کانه‌زایی ولفرامیت رخ نداده است که از دلایل آن فوگاسیته پایین اکسیژن است، زیرا ولفرامیت در فوگاسیته‌های بالای اکسیژن تشکیل می‌شود. در نتیجه در منطقه نظام‌آباد به دلیل پایین‌بودن فوگاسیته اکسیژن، شئلیت تشکیل شده است. همچنین شئلیت از محلول‌های با اسیدیته پایین و محتوی کلسیم بالا تشکیل می‌شود، در صورتی که نهشت ولفرامیت نیاز به اسیدیته بالاتری دارد. وجود بخشها و لایه‌های گرافیتی در ناحیه، مؤید فوگاسیته پایین اکسیژن است. عدم تشکیل پوولیت به همراه شئلیت در نمونه‌های شئلیت مناطق کانه‌سازی‌شده منطقهٔ مورد مطالعه که رنگ سفید شیری و فلوئورسانی بنفش‌رنگ آنها این مسئله را تأیید می‌کند، دلیل دیگری بر پایین بودن فوگاسیته اکسیژن است، زیرا شئلیت فاقد مولیبدن، شاخص محیط‌های دارای فوگاسیته کم اکسیژن است [۱۵].

www.SID.ir

Archive of SID

بر اساس مطالعات انجام شده توسط فرهادیان [۷]، شرایط حاکم بر محیط کانی‌سازی، دما و فشار بالا بوده و کانسار از نوع هیپوترمال با خاستگاه درون‌زادی است. از میان شواهد کانی‌سازی در دماهای بالا در این مناطق می‌توان به مواردی از جمله پدیدهٔ محلول جامد و ناآمیخته در پیروتیت، اسفالریت و کالکوپیریت، حضور اسفالریت با قدرت بازتاب پایین و بازتاب داخلی سرخ رنگ، وجود کانی‌های مؤید دمای بالا نظیر کاسیتریت و شئلیت و نیز حضور بیسموت طبیعی درون بیسموتینیت که دمایی در حدود ^{o}C ۲۵۰ را تأیید می‌کند، اشاره کرد [۷].

تشابه روند REE در سه منطقهٔ نظام‌آباد، روشت و فیزانه با توجه به کانی‌شناسی و تشابه این مناطق، نشاندهندهٔ یکسان بودن خاستگاه و شرایط تشکیل و تمرکز کانه در این سه منطقه است. یکی از دلایل بالاتر بودن ΣREE و سدیک‌تر بودن منطقهٔ فیزانه نسبت به نظام‌آباد و روشت، ترکیب گرانودیوریتی سنگ میزبان رگه‌های کوارتز- تورمالین در این منطقه است، زیرا گرانودیوریت نسبت به کوارتزدیوریت اسیدی‌تر و تفریق‌یافته‌تر بوده و به دلیل ناسازگاری عناصر نادر در شاره تجمع یافته و در فازهای انتهایی تفریق، تمرکزشان افزایش می‌یابد [۱۶].

شواهد ارائه‌شده دلالت بر آن دارد که دمای کانه‌زایی و شرایط محیط تشکیل در هر دو نوع کانه‌زایی استراتاباند و رگه‌ای یکسان است، اما الگوهای REE_N این دو نوع مشابه نیست که اختلاف الگوها مربوط به فرایندهای کنترل‌کننده REEهاست، زیرا به نظر باو [۱۷]، اگر الگوی شارهٔ REE در تماس با سنگی که دارای الگوی REE کندریتی است، با فرایند جذب سطحی کنترل شود، کاهش شعاع یونی REE سه ظرفیتی به سمت $(La/Lu)_{cn} > ۱$ می‌رود. اما اگر این الگو توسط سازوکار اختلاط (کمپلکس‌های پایدار هیدروکسید، فلورید و یا کربنات) کنترل شود، این کاهش شعاع یونی موجب $(La/Lu)_{cn} < ۱$ می‌شود. در شرایط کاملاً احیا (Eu به صورت $Eu^{۲+}$)، الگوی REE شارهٔ تشکیل‌دهنده باید آنومالی مثبت نشان دهد، در حالی که در سازوکار اختلاط کمپلکس‌ها، این الگو به دلیل شعاع یونی افزایش‌یافتهٔ یون $Eu^{۲+}$ باید آنومالی منفی نشان دهد. از این مطالب، شاید بتوان نتیجه گرفت که خاستگاه REE در هر چهار منطقه کانه‌زایی یکسان است. از آنجا که در مناطق کانه‌زایی نوع رگه‌ای، بخشی از شاره‌ها را آبهای جوی تشکیل می‌دهند [۱۴]، شرایط محیطی مانند سنگ میزبان این مناطق روی میزان ΣREE تأثیر گذاشته‌اند.

بنابر برداشت عزیزپور مغوان [۸] در منطقهٔ بامسر، عناصر فلزی W، Sn، Zn، Cu و غیره از چشمهٔ محلولهای بروندمی[1] به‌وسیلهٔ رس‌ها، مواد آلی و سیلیس کلوئیدال در حال رسوبگذاری (شیل‌های پلیتی حاوی مواد آلی و توف‌های اسیدی) جذب شده‌اند. در طول دیاژنز اولیه تا

1- Exhalative

www.SID.ir

Archive of SID

پسین، عناصر فلزی از رس‌ها، سیلیس کلوئیدال و مواد آلی خارج و به صورت ترکیبات محلول وارد آبهای شور درون‌لایه‌ای شده و در نهایت در مرز لایه‌های آهکی رس‌دار با شیل‌ها و توف‌های سیلیسی، به دلیل چرخش محلول شور کانه‌دار در این مرزها و نیز افزایش غلظت عناصر با خروج آنها از شیل‌ها، متمرکز شده‌اند (یعنی سنگ خاستگاه اولیه تنگستن در آهکهای رس‌دار، شیل‌ها و توف‌های سیلیسی هستند). سپس در مرحلهٔ دگرگونی ناحیه‌ای، دگرشکلی و برخاستن[۲] همزمان، تحرک در اثر انتشار و محلولهای گرمابی، موجب تحرک و تبلور مجدد کانی‌های فلزی شده، به‌طوریکه اندازهٔ این کانی‌ها افزایش یافته و به دهها و حتی صدها میکرون رسیده است.

در کانسار نظام‌آباد و آثار معدنی روشت و فیزانه، کانه‌زایی تنگستن به صورت شئلیت در رگه‌های کوارتز- تورمالین با میزبان کوارتزدیوریتی (نظام‌آباد و روشت) و گرانودیوریتی (فیزانه) رخ داده است. نتایج آنالیز XRF توده‌های گرانیتوئیدی منطقه [۱۸]، حاکی از غنی‌شدن تنگستن (ppm ۴۵- ۱۵) در این توده‌ها نسبت به توده‌های گرانیتوئیدی فاقد کانه‌زایی (متوسط ppm ۱٫۱) [۱۹] است. علیرغم وجود آنومالی تنگستن، مطالعات میکروسکوپی و بررسی با لامپ ماوراء بنفش، نشان از عدم حضور کانهٔ شئلیت در این توده‌ها دارد. همچنین، به سمت فازهای انتهایی (آپلیت‌ها و پگماتیت‌ها) مقدار تنگستن کاهش می‌یابد (ppm ۸-۳). در توده‌های گرانیتی- گرانودیوریتی، کانه‌زایی رخ نداده و رگه‌های کوارتز- تورمالین کانه‌دار منحصراً به کوارتزدیوریتها و گرانودیوریتهایی که عمدتاً در تماس با واحدهای رسوبی دگرگون‌شده هستند، محدود می‌شوند. علاوه بر این، به سمت رگه‌های معدنی، در سنگ دیواره تورمالین تشکیل می‌شود، در حالی که در سنگهای دگرسان‌نشده، کانی تورمالین وجود ندارد. تشکیل تورمالین در مجاورت رگه‌ها به طور مشخص در ارتباط با حرکت عنصر بور (B) از شارهٔ کانه‌زا به سمت سنگ دیواره است که با ایجاد شرایط مناسب، منجر به کانی‌زایی تورمالین شده است. بور یکی از عناصر مهم در انتقال تنگستن در شاره‌های گرمابی است. کانه‌سازی تنگستن در محیط‌های بوردار نشاندهندهٔ ارتباط زایشی این دو عنصر است [۲۰]. از مجموعهٔ این مطالب می‌توان نتیجه گرفت که در خلال تحول ماگمای تونالیتی و کوارتزدیوریتی نظام‌آباد، محلول‌های مسئول در کانه‌زایی، ضمن اختلاط با آبهای جوی مسیر خود [۱۴]، طی گردش در سنگهای کانه‌دار نظیر منطقهٔ بامسر، بور، تنگستن و دیگر عناصر فلزی را شسته و در نتیجه محلول پایانی تحول ماگمایی کوارتزدیوریتی و تونالیتی، از آنها غنی شده است. این محلول‌های داغ ضمن حرکت به سمت بالا و دور شدن از چشمهٔ ماگمایی با کاهش دما و افزایش pH روبرو گشته، به‌صورت رگه و رگچه‌های گرمابی، کانه‌زایی تنگستن به‌صورت شئلیت را موجب شده‌اند.

2- Uplift

www.SID.ir

Archive of SID

برداشت

دو نوع REE_N در شئلیت‌های ذخایر تنگستن جنوبغرب آستانهٔ اراک مشاهده می‌شوند که عبارتند از: ذخایر رگه‌ای نظام‌آباد، روشت و فیزانه و نوع دیگر استراتاباند بامسر. نوع اول دارای شکل خمیده (محدب)، ΣREE بالا و فاقد آنومالی تا دارای آنومالی شدید منفی Eu بوده و از HREE غنی شده‌اند. گروه دوم دارای ΣREE پائین‌تر، شکل مسطح‌تر و آنومالی مثبت کوچک تا بزرگ Eu بوده و از LREE غنی شده‌اند.

در هر دو نوع کانه‌زایی، به دلیل حضور کانی‌های با دمای بالا (بی‌شتر از ۲۵۰°C) مانند شئلیت و کاسیتریت، و حضور بافتهای ناآمیخته کانه‌سازی در دمای بالا صورت گرفت و نیز حضور شیستهای کربن‌دار در منطقهٔ بامسر و بخشهای گرافیتی در مناطق رگه‌ای حاکی از احیا بودن محیط است. در چنین شرایطی Eu فقط به‌صورت دوظرفیتی وجود دارد.

علیرغم وجود شرایط یکسان محیطی و دمای کانه‌زایی در هر دو نوع استراتاباند و رگه‌ای، عدم تشابه الگوی REE_N این دو نوع، ناشی از فرآیندهای متفاوت کنترل‌کننده REE است. در بامسر (نوع استراتاباند) به دلیل کنترل REE در اثر فرایند جذب سطحی، الگوی REE دارای آنومالی مثبت Eu بوده و از LREE غنی شده است، اما در مناطق نوع رگه‌ای (نظام‌آباد، روشت و فیزانه) چون عامل کنترل‌کننده، مکانیسم اختلاط کمپلکس‌ها می‌باشد، الگوی REE آنومالی منفی Eu نشان داده و از LREE تهی شده است.

بالابودن میزان REE کل و مقدار سدیم در منطقهٔ فیزانه نسبت به سایر مناطق کانه‌زایی به دلیل حضور سنگ میزبان گرانودیوریتی در این منطقه است، زیرا عناصر نادر ناسازگار بوده و در فازهای انتهایی تفریق که اسیدی‌تر و سدیک‌تر هستند تجمع می‌یابند.

از مطالب بالا می‌توان نتیجه گرفت که خاستگاه REE در هر دو نوع کانه‌زایی استراتاباند و رگه‌ای یکسان است. با وجود آنومالی تنگستن در توده‌های گرانیتوئیدی منطقه، مطالعات انجام شده حاکی از آن است که این توده‌ها نمی‌توانند خاستگاه تنگستن باشند.

تشکر و قدردانی

از آقایان دکتر نعمت‌اله رشیدنژاد عمران به خاطر راهنمایی‌های ارزنده در مطالعات REE و دکتر محمدرضا قربانی به دلیل کمک در مطالعات پتروگرافی سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

[۱] محجل م.، سهندی م.ر.، *"تکامل تکتونیکی پهنه سنندج-سیرجان در نیمه شمال باختری و معرفی زیرپهنه‌های جدید در آن"*، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین، سال هشتم، شماره ۳۲-۳۱ (۱۳۷۸) صفحه ۴۹-۲۸.

www.SID.ir

Archive of SID

[2] Mohajjel M., Fergusson C. L., Sahandi M. R., *"Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences 21 (2003) 397- 412.

[۳] رادفر ج.، *"بررسی‌های زمین‌شناسی و پترولوژی سنگهای گرانیتوئیدی ناحیه آستانه و گوشه (در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ شازند)"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران (۱۳۶۶).

[4] Masoudi F., *"Contact metamorphism and pegmatite development in the region SW of Arak"*, Iran. PhD Thesis, The University of Leeds, UK (1997).

[۵] واعظی‌پور م. ج.، اقلیمی ب.، *"یافته‌های نوین در نهشته‌های ژوراسیک ناحیه لکان (چهارگوش گلپایگان)"*، گزارش داخلی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۶۳).

[6] Berthier F., Billiault J. P., Halbronn B., Maurizot P., *"Field works in the frame of Khorramabad quadrangle map"*, Geological Survey of Iran (1992).

[۷] فرهادیان م. ب.، *"بررسی ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی کانسار تنگستن نظام‌آباد اراک"*، پایان‌نامه دوره تخصصی اکتشاف معدن (معادل کارشناسی ارشد)، گروه مهندسی معدن، دانشگاه تهران (۱۳۷۰).

[۸] عزیزپور مغوان م.، *"ژئوشیمی، کانی‌شناسی و ژنز اثرهای معدنی تنگستن اسکارنی بامسر و رگه‌ای روشت و مقایسه آنها با کانسار تنگستن نظام‌آباد (شازند اراک)"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۷۸).

[۹] جهانگیری ح.، *"گزارش بررسی آنومالی‌های تنگستن و قلع نظام‌آباد و بامسر"*، گزارش داخلی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۸).

[10] Longerich H. P., Jackson S. E., Günther D., *"Laser ablation inductively coupled mass spectrometry transient signal data acquisition and analyte concentration calculation"*, Journal of Analytical Atomic Spectrometry 11 (1996) 899-904.

[11] Sun S. S., McDonough W. F., *"Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Saunders A. D. and Norry M. J. (eds.) Magmatism in the ocean basins"*, Spec. Publ. Vol. Geol. Soc. Lond., No. 42 (1989) 313-345.

[12] Ghaderi M., Palin J. M., Campbell I. H., Sylvester P. J., *"Rare earth element systematics in scheelite from hydrothermal gold deposits in the Kalgoorlie-Norseman region, Western Australia"*, Economic Geology 94 (1999) 423-437.

www.SID.ir

Archive of SID

[13] Sverjensky D. A., *"Europium redox equilibria in aqueous solution"*, Earth and Planetary Science Letters 67 (1984) 70-78.

[۱۴] شمعانیان اصفهانی غ.ح.، *"مطالعات ژئوشیمی، کانی‌شناسی و سیالات درگیر در معدن تنگستن نظام‌آباد، استان مرکزی- ایران"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز (۱۳۷۳).

[15] Giuliani G., Cheilletz A., Mechiche M., *"Behaviour of REE during thermal metamorphism and hydrothermal infiltration associated with skarn and vein type tungsten ore bodies in Central Morocco"*, Chemical Geology 64 (1987) 279-294.

[16] Mason B.H., Moore C. B., Principles of geochemistry. John-Wiley & Sons Ltd. (1982).

[17] Bau M., *"Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium"*, Chemical Geology 93 (1991) 219-230.

[۱۸] فردین‌دوست ز.، *"ژئوشیمی ایزوتوپی و عناصر کمیاب ذخایر تنگستن (مس- قلع) جنوبغرب آستانه اراک"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۲).

[19] Ivanova G. F., *"Geochemistry of tungsten, in Beus A. A. (ed.)"*, Geology of tungsten. Project 26 "MAWAM" (1986) 11-43.

[20] Evans A. M., *"Metallization associated with acid magmatism"*, John-Wiley & Sons Ltd. (1982).

www.SID.ir